

УДК 556.161

ЗАКОНОМІРНОСТІ КОЛИВАНЬ СТОКУ РІЧКИ ДНІСТЕР (УКРАЇНА) В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОРІЧЧЯ

Н. С. Лобода, М. Р. Розвод

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна,
natalie.loboda@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>

Актуальність обраної теми обумовлена впливом змін клімату на коливання водності річок України. Наслідки потепління залежать від фізико-географічних умов і суттєво розрізняються у різних природних зонах. Реакція водозборів на зміни клімату змінюється в залежності від ландшафту (гірська або рівнинна місцевість) та широти місцевості, що призводить до нестійкості меж районів із синхронними та синфазними коливаннями річного стоку. Метою дослідження є встановлення закономірностей коливань річного стоку в басейні Дністра у їх зв'язку із коливаннями максимального стоку дощових паводків та весняних водопілля. Саме весняні водопілля визначають значну частину об'єму річного стоку і залежать від впливу потепління у зимовий сезон на снігове живлення річки. Метод побудови різницевих інтегральних кривих річного, максимального дощового та максимального весняного стоку та їх аналіз є основним у даному дослідженні. У межах водозбору річки Дністер за видом різницевих інтегральних кривих річного стоку виділено 7 груп (районів) із синхронними або синфазними коливаннями. Співставлення коливань річного, максимального дощового та весняного стоку відбувалося за осередненими у межах кожної групи кривими. Ступінь синхронності або синфазності коливань оцінювався за коефіцієнтами кореляції між ординатами різницевих інтегральних кривих. Установлено, що циклічність коливань головної річки зберігається по всій її довжині, навіть нижче Дністровської ГЕС. Останній перехід у маловодну фазу відбувся у 2010-2011 роках. Виявлено, що встановлена для головної річки циклічність обумовлена, головним чином, коливаннями стоку гірських карпатських приток, які утворюють зону формування стоку Дністра. Ця частина водозбору характеризується високим внеском снігового та дощового живлення річки, але роль дощового живлення переважає. У верхів'ях карпатських річок, де вплив потепління ще недостатньо виражений на значних висотах, весняне водопілля відіграє головну роль у формуванні стоку. У верхів'ях карпатських річок виділено додатковий район, де коливання річного стоку обумовлені як дощовим стоком, так і весняним водопіллям. Межі району 2 можуть змінюватися в результаті посилення наслідків потепління високо у горах. На лівобережних притоках коливання стоку у районах Верхньоподільський та Середньоподільський циклічність коливань стоку є близькою до коливань головної річки, але виявлений зсув дат останнього переходу у маловодну фазу. Указано на можливість існування впливу карсту та штучних водойм. Установлено суттєву відмінність у характері коливань стоку верхніх лівобережних приток (Стрв'яз, Верещиця, Щерек) та нижніх лівобережних приток, які знаходяться під впливом інших атмосферних процесів та відповідних їм кліматичних чинників.

Ключові слова: циклічність коливань стоку; річний стік; весняне водопілля; дощові паводки; районування.

1 ВСТУП

Актуальність роботи обумовлена зміною умов формування стоку в басейні річки Дністер внаслідок змін глобального та регіонального клімату [1] і практичною необхідністю відстежувати реакцію водозборів річок та водних екосистем на ці зміни [2]. Водозбір річки Дністер має значну протяжність з північного заходу на південний схід України і проходить через декілька географічних зон. Середня

багаторічна зміна витрат паводків/повеней за кожне десятиріччя в Українських Карпатах дорівнює 0-5%, а на території Північно-Західного Причорномор'я (нижня течія Дністра) досягає "мінус" 12%. [3]. Проблема полягає у тому, щоб установити закономірності коливань стоку і основні тенденції щодо його змін в басейні Дністра як на головній річці, так і притоках на початку ХХІ сторіччя та виявити причини цих змін. Адаптація до змін клімату,

охорона та раціональне використання водних ресурсів є стратегічними задачами розвитку Дністра як транскордонної річки [4]. Виявлення основних тенденцій у коливаннях стоку в басейні Дністра потребує вирішення питання щодо зміни внеску дощових паводків та весняного водопілля у формування стоку як гірських, так і рівнинних приток, а також головної річки.

Об'єктом дослідження є закономірності коливань характеристик стоку в умовах кліматичних змін.

Предметом дослідження є оцінка закономірностей коливань річного стоку в басейні річки Дністер внаслідок зміни кліматичних умов формування стоку.

Метою дослідження є встановлення закономірностей коливань річного стоку в басейні Дністра у їх зв'язку із коливаннями максимального стоку дощових паводків та водопіль.

Опис об'єкта та предмету дослідження. Басейн річки Дністер за умовами живлення, орографічними та кліматичними особливостями поділяється на три частини: Карпатську, Волино - Подільську та Нижню Південну частини [5]. Згідно із ландшафтно-гідрологічним районуванням, у якому ураховуються тепло- та вологозабезпеченість територій, орографічні елементи та морфоструктурні утворення, басейн річки Дністер знаходиться у чотирьох ландшафтно-гідрологічних зонах: Карпатській гірській; Широколистолисовій вологій; Лісостеповій недостатньо зволоженої; Степовій посушливій [6]. Карпатська гірська зона включає до себе Прут-Дністровську ландшафтно-гідрологічну провінцію, до якої входять увійшли правобережні гірські притоки Дністра. Внутрішньорічний розподіл стоку цих річок характеризується значною долею (52-53%) дощового живлення у літньо-осінній сезон (VI-XI). Бузько-Дністровська провінція (широколистолисова волога зона, верхнє лівобережжя) та Дністровсько-Дніпровська провінція (Лісостепова недостатньо зволожена зона, середнє лівобережжя) також характеризуються значним дощовим живленням, але поряд із дощовими паводками на річках цих провінцій спостерігаються весняні водопілля, максимуми яких здебільшого перевищують максимуми дощових паводків. Внесок талого стоку весняного сезону становить близько 40% для Бузько-Дністровської провінції та досягає 52% для Дністровсько - Дніпровської провінції. У Причорноморсько - Приазовській провінції

степової зони переважає внесок весняного водопілля у формуванні річного стоку.

За гідрологічним районуванням [7] верхня правобережна частина Дністра належить Українським Карпатам, де виділяється Центральньо-Карпатська область високої водності та Дністровсько - Прутська область підвищеної водності. Виділені в Українських Карпатах області високої та підвищеної водності відповідають геоморфологічному районуванню згідно із яким в Українських Карпатах виділяються Передкарпатська височина, Зовнішня (північно-східна) смуга Карпат (Бескиди, Горгани, Покутсько-Буковинські Карпати) та Вододільно-Верховинські Карпати), які розрізняються своїм зволоженням. Верхня та середня лівобережні частини водозбору Дністра належать зоні достатньої водності, у межах якої знаходяться Волинська підобласть та Правобережна Дніпровська область. У роботі [8] обидві вказані вище територіальні групи об'єднані в один гідрологічний район, який названий Волино-Подільським або Подільським. Нижня південна течія річки Дністер відноситься до зони недостатньої водності (Причорноморський гідрологічний район).

Зона формування стоку р. Дністер розташована у його верхній частині водозбору, головним чином, у гірській зоні. Основне живлення Дністра є дощовим та сніго-дощовим. Для верхньої правобережної (карпатської) частини Дністра характерні паводки протягом усього року, внаслідок випадання інтенсивних дощів у теплу пору року, сніготанення в горах в період відлиг та загального танення снігового покриву навесні. Весняне водопілля часто проходить декількома хвилями, в останні роки водопілля формується проходить в умовах випадіння весняних дощів на спаді водопілля, в таких випадках водопілля може бути багатомодальним, коли кожен наступний пік може перевищувати перший, обумовлений таненням снігу. Таким чином, Карпатські притоки мають зливовий паводковий характер з весняним водопіллям та літніми й осінніми дощовими паводками.

На лівобережній стороні Дністра основною частиною рельєфу є Подільська височина. У її межах знаходиться Львівське плато, де залягають неогенові пісковики та вапняки [9]. Подільські притоки характеризуються вираженим весняним водопіллям, але на коливання стоку впливає наявність карсту у земній поверхні. Карстові утворення

обумовлюють існування високої підземної складової сумарного стоку річок. Лише на півдні басейну Дністра водність повністю залежить від коливань талого стоку. Майже все лівобережжя (до річки Ягорлик включно) належить до карстової країни – Північно-Західних схилів Українського кристалічного щита [10].

Огляд літератури. У роботі Горбачової Л.О. зазначається, що “просторово-часові коливання середньорічного стоку води річок добре узгоджуються з просторово-часовими коливаннями річних сум атмосферних опадів” [11]. На основі методів багатовимірного статистичного аналізу (факторний аналіз та метод головних компонент за період сумісних спостережень 1947-1986 рр.) Лободою Н.С. було встановлено, що коливання річок басейну Дністра, за виключенням тих, що належать степовій зоні, є синфазними і вони утворюють так званий Західний район [12]. Було доведено, що коливання річного стоку верхніх лівобережних приток Дністра є синхронними (до річки Стрипа включно). Також була виявлена синхронність коливань стоку на лівобережних притоках Дністра, які належать до Дністровсько-Дніпровської лісостепової провінції. Було визнано, що коливання стоку карпатських приток (Карпатський район) та лівобережних приток Верхнього Дністра також є синхронними. Із збільшенням тривалості даних спостережень по річному стоку за різні розрахункові періоди (1953-1982рр. та 1983-2010рр.) у роботі [13] був зроблений висновок, що характер коливань річного стоку та межі районів із синхронними коливаннями стоку можуть змінюватись. Зокрема, було встановлено, що порушилася синхронність коливань річного стоку у Карпатському районі та верхніх лівобережних притоках Дністра. Ця обставина пояснювалася наслідками впливу змін клімату на гірських, передгірських та рівнинних територіях [14]. Рівнинні та передгірські водозбори виявилися більш чутливими до зростання температур повітря у холодний сезон, оскільки їх стік у значній мірі визначається накопиченими запасами води у сніговому покриві і може впливати на формування максимумів та шарів стоку у період формування весняного водопілля [15]. У роботі [16] відзначається, що “спадаюча фаза циклічних коливань максимальних запасів води в снігу та суми від’ємної температури повітря за зимовий період, починаючи з 70-х років ХХ століття, призводять до зменшення максимальних витрат води весняного водопілля рівнинних річок”.

У роботі авторів [17] показано, що на гірських водозборах (Карпатський район) у період потепління зростає роль дощових паводків, кількість та інтенсивність яких збільшується, а внесок талого стоку зменшується. За рахунок зростання внеску дощових паводків у формування сумарного стоку наслідки змін клімату менш помітні. Окрім того, у горах із зростанням висоти збільшення температур повітря через глобальне потепління не так добре виражене як на рівнині [18]. У роботі Вишневського В.І. також відзначається зменшення стоку річок Карпат у період проходження весняного водопілля [19]. Слід зазначити, що наслідки потепління у зимовий сезон не проявляються у формуванні стоку до тих пір, поки температури зимових місяців не перейдуть у додатну область своїх значень.

У роботі [20] на прикладі порівнянь водозборів Прут та Тиса звертається увага на велику роль висоти та відносної площі, зайнятої значними висотами, а також на вплив форми водозборів та розташування схилів відносно навітряної та підвітряної сторін. Зазначається, що при витягнутості водозборів уздовж Карпатських гір виникає більше можливостей для накопичення вологи, ніж це можливо для водозборів, що тягнуться із заходу на схід. Ця обставина знайшла своє підтвердження під час відокремлення Зовнішньокарпатського та Східнокарпатського районів із синхронними коливаннями стоку, про що йшлося в [21]. Таким чином, можна відзначити, що на багатьох річках України змішаного живлення за рахунок потепління відбуваються зміни у генетичному походженні річного стоку, що може вплинути на характер багаторічних коливань стоку. Зменшення весняного стоку рівнинних річок підчас зростання температур повітря зимового сезону також здатне вплинути на характер коливань річного стоку.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У роботі використані дані гідрологічних спостережень на діючих гідрологічних постах, які розташовані на водозборі р. Дністер у межах України. Максимальна тривалість спостережень становить 72 роки (1945-2021 рр.). Використані дані по річному, максимальному стоку весняного водопілля та максимальному стоку дощових паводків за теплий період року. Оскільки на багатьох річках басейну Дністра початок спостережень припадає на 50 – ті роки минулого сторіччя, при розрахунках

осереднених різницевих інтегральних кривих та коефіцієнтів кореляції використовувалися ряди з єдиним періодом спостережень, наприклад, 1958-2018 рр.

Основним методом досліджень є метод різницевих інтегральних кривих [22]. Найчастіше в практиці гідрологічних розрахунків для виділення фаз і циклів водності використовуються різницеві інтегральні криві, ординати яких являють собою послідовне накопичення відхилень величин стоку від середнього значення. Порівняння кривих легше виконувати при їх представленні у вигляді безрозмірних, тобто модульних, коефіцієнтів стоку ($k_i = q_i / \bar{q} = Q / \bar{Q} = W_i / \bar{W} = Y_i / \bar{Y}$), де q – модуль стоку, Q – витрата, W – об'єм, Y – шар стоку). Середнє багаторічне значення модульного коефіцієнта завжди дорівнює одиниці, отже, поточні ординати різницевої інтегральної кривої на кінець t -го року від початку побудовування кривої визначають за рівнянням

$$\sum_{i=1}^t (k_i - 1) = f(t), \quad (1)$$

де k_i – модульний коефіцієнт.

Відхилення середнього значення величини (модульного коефіцієнта) за будь-який інтервал часу m від його середнього значення за багаторічний період спостережень, який дорівнює одиниці, характеризується тангенсом кута нахилу лінії, яка поєднує точки початку та кінця інтервалу, до горизонтальної прямої і визначається за формулою

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha = (k_i - 1)_{\text{сеп}} &= \frac{l_k - l_n}{m} = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1) - \sum_{i=1}^{n-m} (k_i - 1)}{m} = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^m (k_i - 1)}{m}, \end{aligned} \quad (2)$$

де l_k, l_n – відповідно кінцева та початкова ординати інтегральної кривої для періоду часу, який розглядається; m – число років у періоді часу.

Період часу, для якого ділянка інтегральної кривої має нахил вгору відносно осі абсцис та значення $(k_i - 1)_{\text{сеп}}$ додатне (переважають додатні відхилення від середнього), відповідає багатоводній фазі коливань стоку. Період, для

якого з'єднуюча лінія і відповідна ділянка нахилені вниз та $(k_i - 1)_{\text{сеп}}$ має від'ємне значення, відповідає маловодній фазі. Для одного виділеного циклу, який складається із однієї багатоводної та однієї маловодної фаз, середнє значення модульного коефіцієнта $k_{\text{сеп}}$ дорівнюватиме 1, для багатоводної фази $k_{\text{сеп}}$ більше за 1, для маловодної – менше за 1.

Сума $\sum_{i=1}^m (k_i - 1) = 0$ для одного або декількох циклів. Ступінь відповідності коливань різницевих інтегральних кривих оцінювалась за допомогою коефіцієнтів кореляції між ординатами самих кривих. Якщо коефіцієнт кореляції більше або дорівнює 0,7, то це говорить про синхронність коливань досліджуваної характеристики. Якщо коефіцієнт кореляції змінюється в інтервалі від 0,4 до 0,7, то це свідчить про синфазність коливань.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ

За видом різницевих інтегральних кривих коливань річного стоку, на водозборі виділено сім угруповань. Три із них розташовані в районі Українських Карпат, чотири – на лівобережжі (рис. 1). Кількість угруповань відповідає районам, виділеним на основі кластерного аналізу в роботі [23]. З метою установлення загальних рис коливань стоку для кожного угруповання було отримано осереднену інтегральну криву. Оскільки річний стік Дністра формується як за рахунок весняних водопіль, так і за рахунок дощових паводків, було досліджено особливості багаторічних коливань витрат максимального стоку весняного водопілля та максимального стоку дощових паводків теплого періоду. Співставлення характеру коливань річного, максимального весняного та максимального дощового стоку виконано за осередненими інтегральними кривими.

Виявлено, що коливання річного стоку головної річки (Дністер) у період 1945-2018рр. містять у собі декілька циклів водності (рис. 2). Характерними точками або точками перегину є 1964, 1981-1982, 1995 та 2010 роки. Якщо виділяти цикли коливань водності за характерними точками, то можна стверджувати, що перший цикл тривав з 1945 по 1981 рік включно. Другий цикл розпочався у 1982 році і тривав до 2010 року включно. Перша маловодна фаза тривала з початку спостережень (1945) до

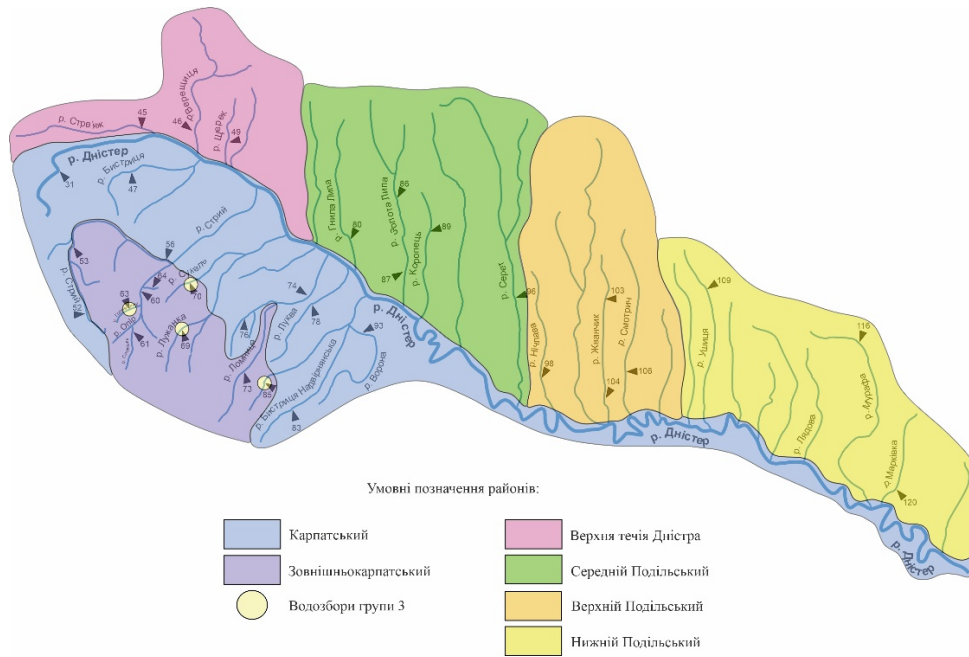


Рис. 1 – Карта-схема районів із синхронними коливаннями річного стоку
Fig. 1 – Map diagram of districts with synchronized fluctuations in annual runoff

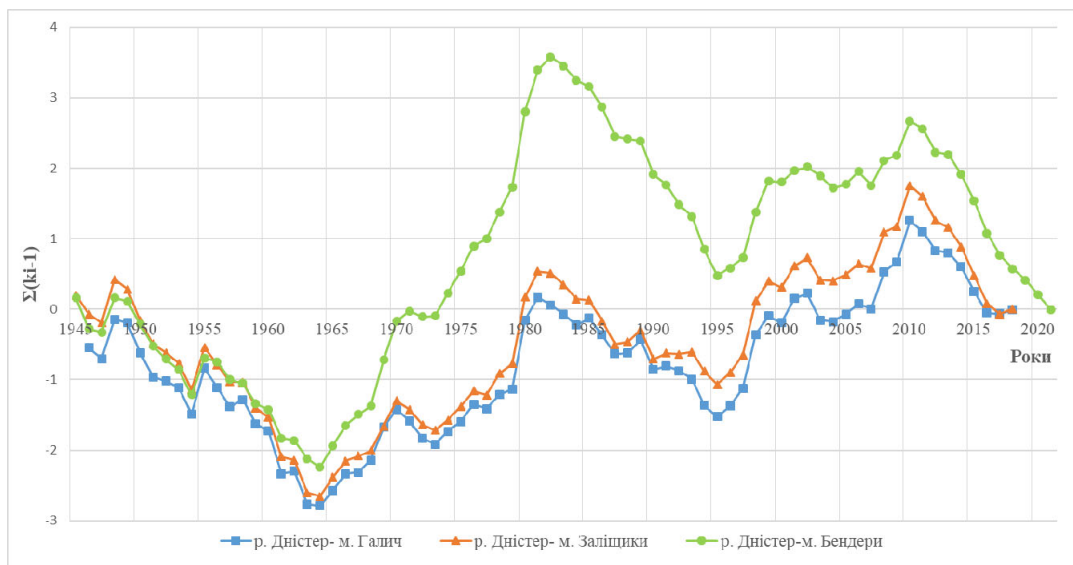


Рис. 2 – Різницеві інтегральні криві річних витрат води за період 1945-2021 рр. у створах, розташованих вище Дністровського водосховища (Галич, Заліщики) та нижче міста Бендери

Fig. 2 – Residual mass curves of annual water discharges for the period of 1945-2021 in the gauges located upstream of the Dniester reservoir (Halych, Zalischyky) and downstream of the city of Bender

1964 року включно. Маловодна фаза змінилася багатоводною, яка закінчилася у 1981 році. Наступна маловодна фаза тривала з 1982 до 1995 року включно, після чого змінилася на багатоводну, яка простежувалася до 2010 року. Лише після 2010 року на головній річці установився перехід у маловодну фазу, що суттєво відрізняється від характеру коливань стоку річок центральної та південної України, де перехід у маловодну фазу коливань відбувся ще

у 1989 році [6].

Більшість річок правобережних приток, які течуть з Українських Карпат, у своїй нижній течії мають таку ж циклічність коливань, як і головна річка (рис. 3). Ці річки утворюють Карпатський район. Саме вони й визначають циклічність коливань стоку Дністра. У роботі [23] було показано, що у період 1963-1982рр. до Карпатського району належали річки Стр'яж, Верещиця, Щерек, Зубра. У поєднанні

з карпатськими згадані річки утворювали район Верхньодністровський. Під час розгляду даних за 1983-2010 рр. було встановлено, що верхні лівобережні притоки відокремилися в іншу групу. Отримані нами результати підтверджують цей висновок (рис. 4). На відміну від головної річки та правобережних (карпатських) приток у коливаннях річок верхнього лівобережжя виділяється лише один цикл водності та немає переходу у маловодну фазу коливань після 2010 року.

Установлено, що верхні течії гірських

правобережних приток Дністра також мають певні відмінності у коливаннях стоку головної річки та Карпатського району і утворюють Зовнішньо-Карпатський район (група 2). Як правило, до цього району входять водозбори із площами до 250 км² та середніми висотами від 800 до 1000 м. Особливістю коливань цих річок є формування “сплеску водності” на фоні багатоводної фази із максимумом у 2002 році, при чому цей максимум перевищує максимум 2010 року, характерний для річок Карпат.

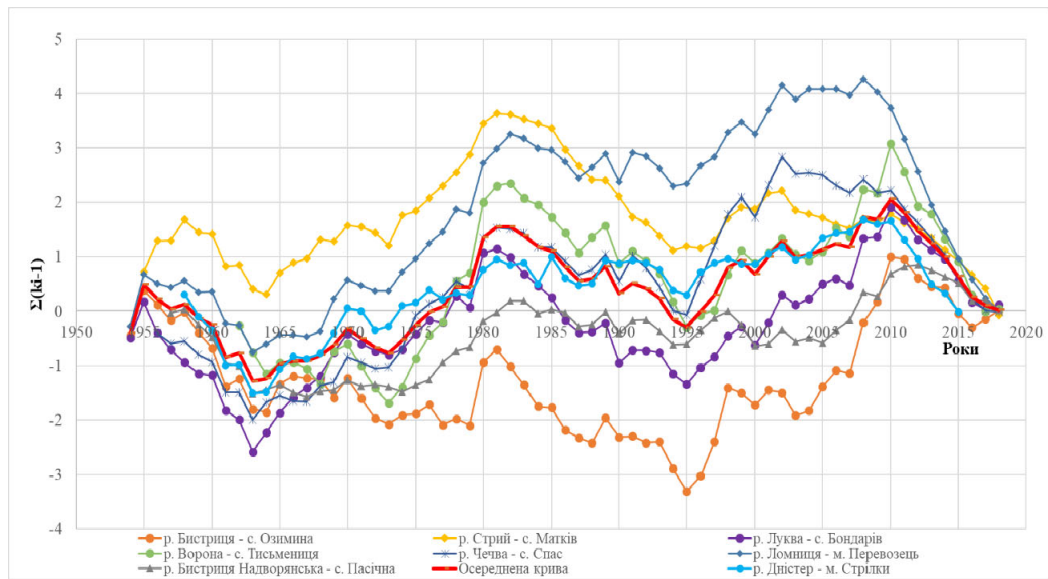


Рис. 3 – Різницеві інтегральні криві річного стоку Карпатського району (група 1) та осереднена інтегральна крива
Fig. 3 – Residual mass curves of the annual runoff in the Carpathian region (group 1) and the averaged residual mass curve

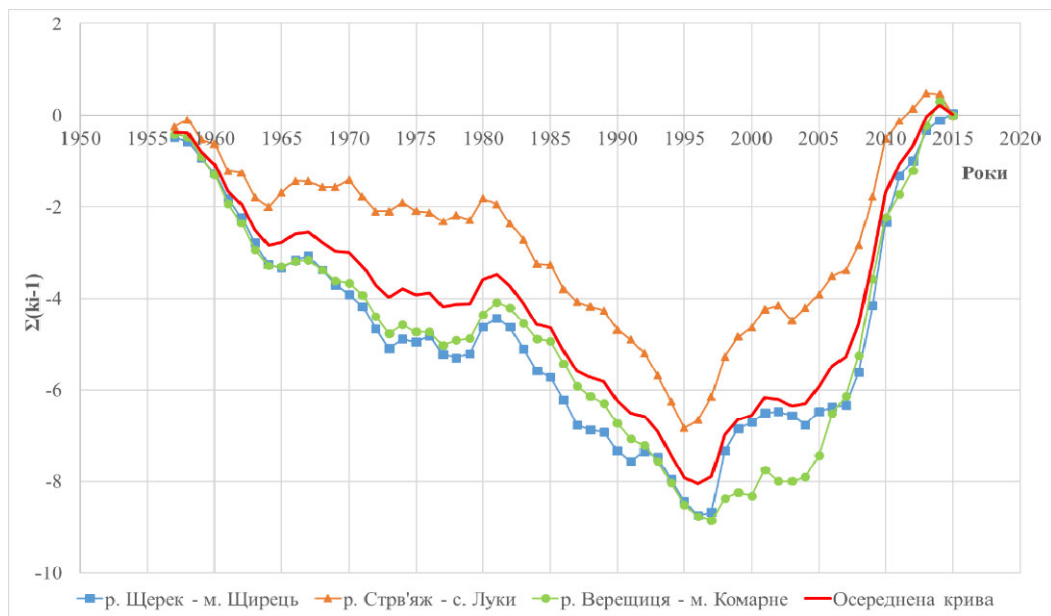


Рис. 4 – Різницеві інтегральні криві річного стоку лівобережних приток у верхній течії Дністра (група 4) та осереднена інтегральна крива
Fig. 4 – Residual mass curves of the annual runoff of the left-bank tributaries in the upper reaches of the Dniester (group 4) and the averaged residual mass curve

У межах групи 2 були виділені окремі водозбори (Головчанка – Тухля, Сукель – Тиса та інші), де характер коливань річного стоку відрізняється від коливань групи 1 і групи 2, що скоріш за все, пов'язане із впливом місцевих чинників, які впливають на формування стоку. Оскільки зміни клімату відбиваються, насамперед, на формуванні максимального стоку весняного водопілля та паводків, був також проведений аналіз різницевої інтегральних кривих коливань характеристик паводків та водопіль.

Висунуто припущення, що причиною наявності відмінностей у характері коливань водності близько розташованих річок та навіть створів, які знаходяться на невеликій відстані на одній і тій самій річці, може бути вплив глобального та регіонального потепління, який по-різному проявляється у різних висотних зонах. Особливо велика різниця виявлена в реакції гірських та рівнинних водозборів на зростання температур повітря у зимовий сезон, яке змінює умови формування та значення стоку у період весняного водопілля [24]. Співставлення осереднених (у межах кожної групи) різницевої інтегральних кривих для

річного, максимального весняного та максимального дощового стоку району 1 (Карпатський) надало змогу зробити висновок, що починаючи з 2000 року відповідність коливань річного та весняного максимального стоку порушилась (рис. 5).

Оцінити синхронність чи синфазність коливань різницевої інтегральних кривих можливо за допомогою визначення коефіцієнта кореляції між ординатами цих кривих. Для Карпатського району (група 1) виявлено існування тісного лінійного зв'язку між ординатами кривих річного стоку та ординатами максимального дощового стоку ($r=0,67$), у той час як тіснота подібного зв'язку для відповідних ординат максимального стоку весняного водопілля оцінюється коефіцієнтом кореляції рівним 0,28 (табл.1).

На основі аналізу суміщених графіків різницевої інтегральних кривих річного стоку, максимального стоку весняних водопіль та дощових паводків (рис. 6) зроблено висновок, що на початку XXI сторіччя на формування стоку водозборів групи 2 більш суттєво впливає весняне водопілля, ніж дощові паводки.

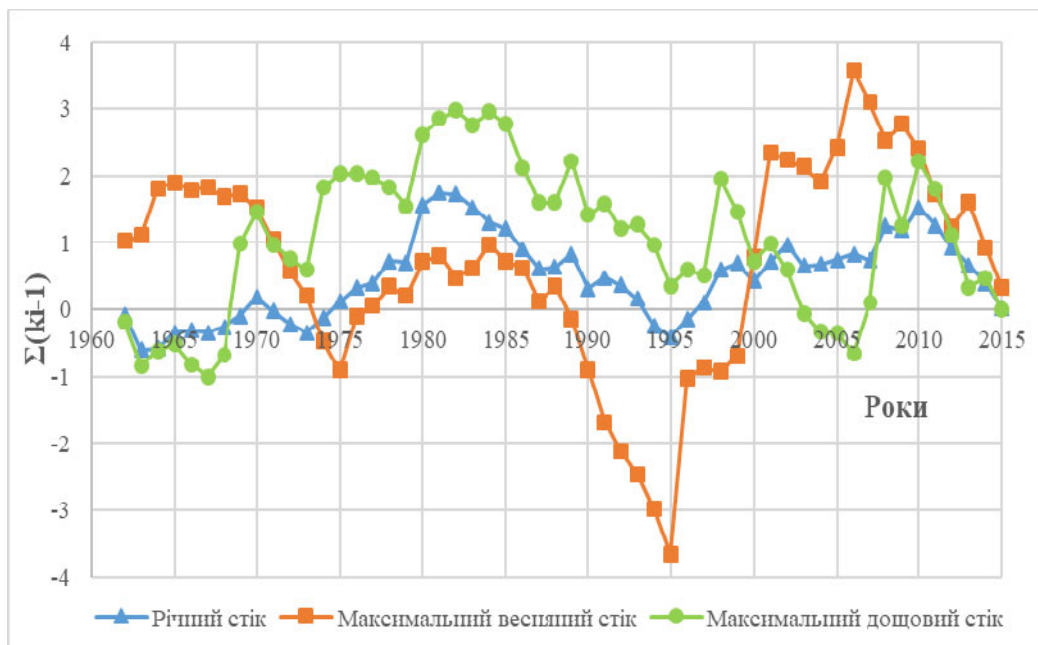


Рис. 5 – Суміщені осереднені різницевої інтегральні криві річного, максимального дощового та максимального весняного (талого) стоку річок Карпатського району (група 1)

Fig. 5 – Combined averaged residual mass curves of annual, maximal rain and maximal spring (melt) runoff of rivers in the Carpathian region (group 1)

Зроблено висновок, що у формуванні коливань річного стоку Зовнішньокарпатського району (група 2) відіграють роль як чинники формування весняного водопілля, так і дощових паводків (коефіцієнти кореляції дорівнюють 0,46 та 0,50, відповідно). У групі 3 циклічність коливань річного стоку відповідає циклічності весняного водопілля, яке, вочевидь, і визначає формування річного стоку в цілому (коефіцієнти кореляції дорівнюють 0,72 та 0,07, відповідно). Водозбори групи 3 знаходяться у межах району 2 і утворюють підрайон.

Під час розгляду групи 4 (Щерек, Верещиця, Стрв'яз) встановлено, що коливання різницевих

інтегральних кривих (річний, максимальний весняний та максимальний дощовий) відбувається майже синхронно (рис. 7) з коефіцієнтами кореляції 0,72 та 0,81 для ординат максимальних витрат водопілля та максимальних дощових витрат, відповідно. Отримані результати дозволяють зробити висновок, що у Карпатському районі основний вплив на формування характеру коливань річного стоку чинять умови формування дощового стоку, а у районі лівобережних приток верхньої течії Дністра (група 4) існує суттєвий вплив як дощового стоку, так і стоку весняного водопілля.

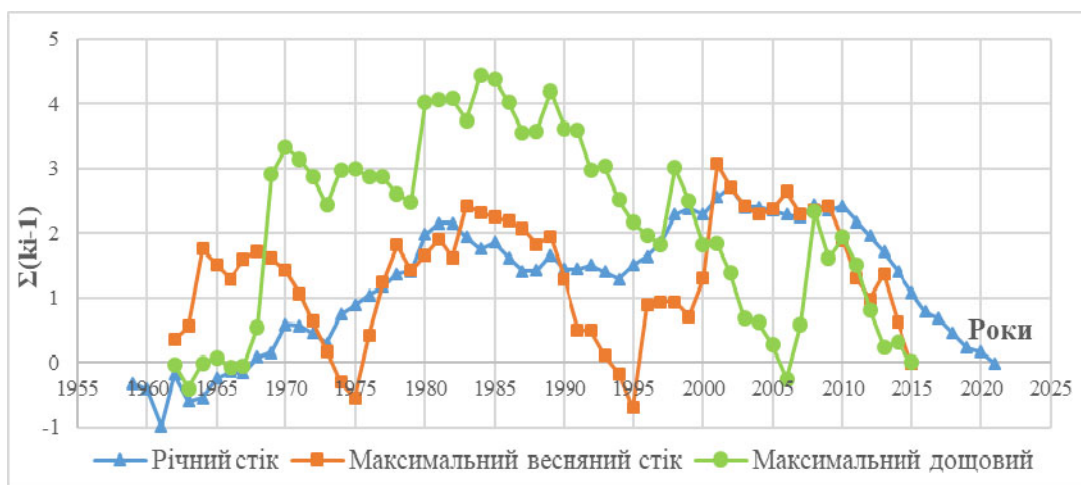


Рис. 6 – Суміщені осереднені різницеві інтегральні криві річного, максимального дощового та максимального весняного (талого) стоку річок Зовнішньокарпатського району (група 2)

Fig. 6 – Combined averaged residual mass curves of annual, maximal rain and maximal spring (melt) runoff of rivers in the Outer Carpathian region (group 2)

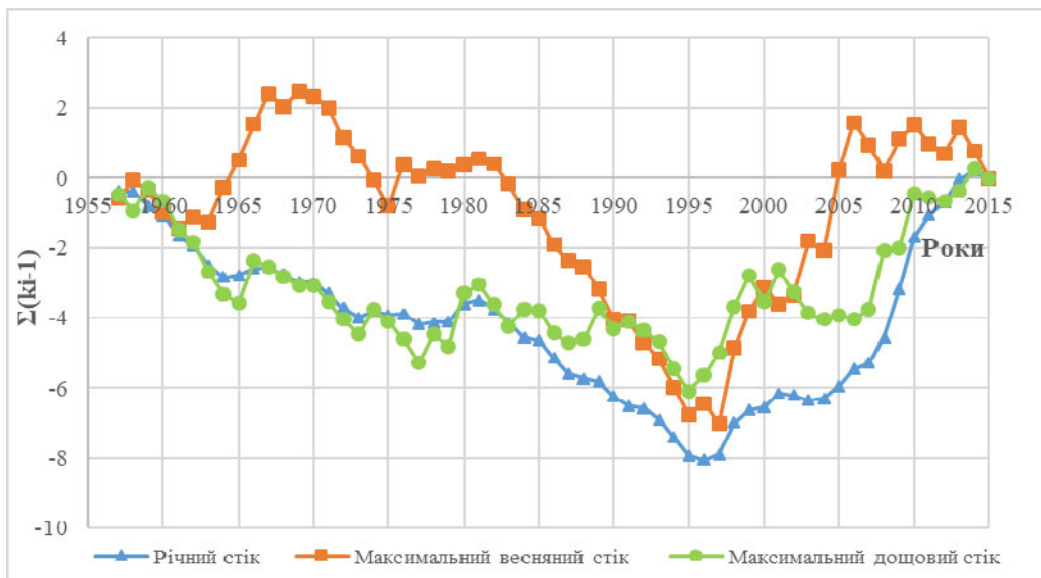


Рис. 7 – Суміщені осереднені різницеві інтегральні криві річного, максимального дощового та максимального весняного (талого) стоку лівобережних приток верхньої течії Дністра (група 4)

Fig. 7 – Combined averaged residual mass curves of annual, maximal rain and maximal spring (melt) runoff of the left bank tributaries of the upper Dniester (group 4)

Аналогічним чином виконувалися дослідження коливань річного, максимального весняного та максимального дощового стоку інших районів, виділених на основі аналізу виду осереднених інтегральних кривих.

Що стосується річок Поділля, то для них суттєвий вплив максимальних витрат водопілля або дощових паводків не виявлений. Зважаючи на існування значного регулювання стоку цих річок карстовими утвореннями та штучними водоймами, до розгляду були прийняті не максимальні витрати, а шари стоку за період весняного водопілля та дощових паводків (див. табл.1). Результати досліджень показали, що для Верхнього Подільського району (група 5) значущими є обидва джерела живлення – снігове та дощове, для Середнього Подільського району переважає вплив дощових паводків (коефіцієнт кореляції між ординатами різницевої інтегральних кривих річного та максимального

стоку дощових паводків у вигляді шарів дорівнює 0,92). Для Нижнього Подільського району характер різницевої інтегральних кривих річного стоку наближається до коливань стоку рівнинних річок півдня України (рис. 8), на яких перехід у маловодну фазу відбувся у 80-ті роки минулого сторіччя. На жаль, через відсутність даних з початку 21 століття по створах гідрологічних спостережень, які знаходяться на території Молдови (трансграничні річки (лівобережні притоки Дністра) Кам'янка, Молокіш, Белочі, Ягорлик), повний аналіз коливань стоку річок Нижнього Подільського району неможливий. Згідно із обмеженими даними коефіцієнт кореляції між ординатами різницевої інтегральних кривих річного стоку і максимального стоку весняних водопілля досягає значення 0,95, що свідчить про значний вплив весняного водопілля на коливання річного стоку.

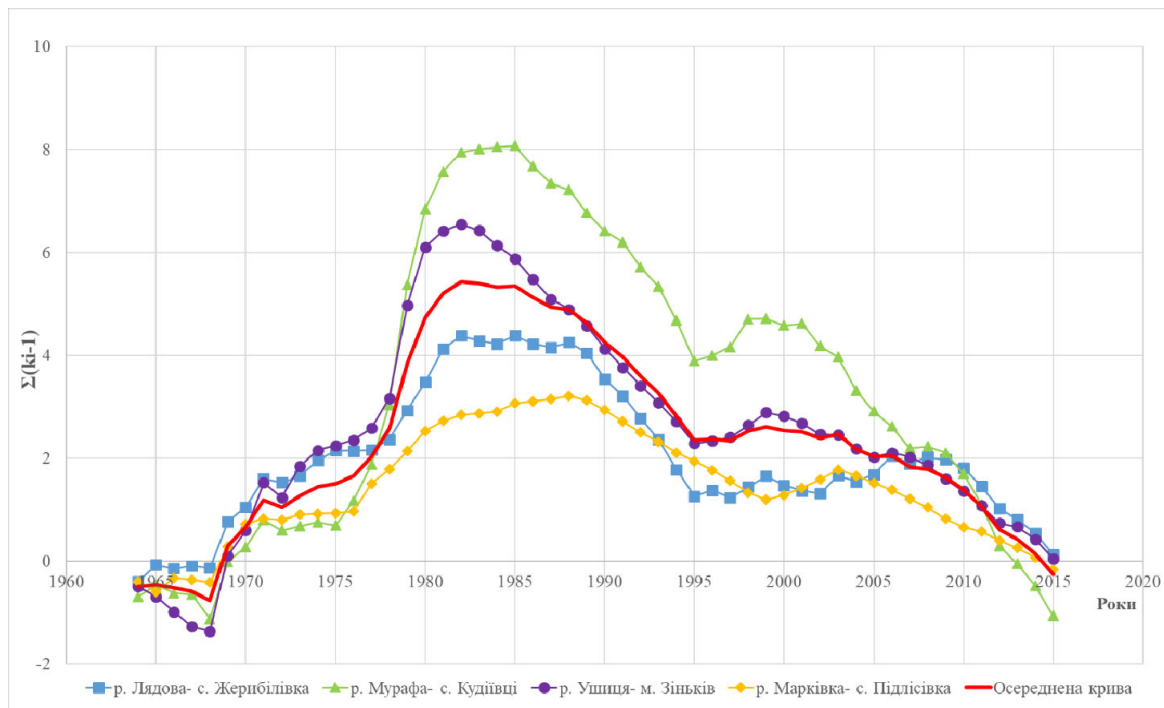


Рис. 8 – Різницеві інтегральні криві річного стоку для лівобережних приток середньої течії Дністра від Ушиці до Ягорлика (Нижній Подільський район, група 7)

Fig. 8 – Residual mass curves of annual runoff for the left-bank tributaries of the middle reaches of the Dniester from Ushytisia to Yahorlyk (Lower Podil district, group 7)

Таблиця 1 – Оцінка тісноти кореляційного зв'язку між ординатами осереднених по групах різницевих інтегральних кривих річного, максимального весняного та дощового стоку
Table 1 – Estimation of the closeness of the correlation between the ordinates of the residual mass curves of annual, maximal spring and rain runoff averaged over the groups

Райони коливань річного стоку, виділені за різницевами інтегральними кривими	Коефіцієнти кореляції між ординатами осереднених різницевих інтегральних кривих річного стоку із витратами та шарами максимального стоку весняного водопілля і дощових паводків			
	для витрат		для шарів стоку	
	Весняне водопілля	Дощовий паводок	Весняне водопілля	Дощовий паводок
Правобережні притоки Карпатський Група 1	0,28	0,70	–	–
Правобережні притоки Зовнішньокарпатський Група 2	0,46	0,50	–	–
Правобережні притоки Група 3	0,72	0,07	–	–
Лівобережні притоки Стрв'яж, Верещиця, Щерек Верхня течія Дністра Група 4	0,72	0,83	–	–
Лівобережні притоки від Гнилої Липи до Серет включно (змішана лісова зона) Верхній Подільський Група 5	0,24	0,28	0,58	0,53
Лівобережні притоки від Нічлави до Смотрича (лісостепова зона) Середній Подільський Група 6	0,30	0,17	0,60	0,92
Лівобережні притоки від Ушиці до Ягорлика Нижній Подільський Група 7	(0,92)	–	–	–

4 ВИСНОВКИ

1. За видом різницевих інтегральних кривих річного стоку річки Дністер та її приток у межах України виділено 7 груп водозборів із синхронними та синфазними коливаннями стоку. Установлено, що виділені райони відповідають районам, виділеним різними авторами у попередні роки з використанням різних методів та підходів, включаючи факторний та кластерний аналіз, метод головних компонент та інші.

2. Запропоновано для узагальнення характеру коливань стоку у різних групах використовувати осереднену по роках у межах кожної групи різницеву інтегральну криву. Результати дослідження дозволили виявити, що циклічність коливань головної річки Дністер визначається, головним чином, коливаннями стоку Карпатських приток, для яких кількість циклів та границі фаз водності співпадають.

У верхніх течіях річок Карпат характер коливань відрізняється від коливань головної річки, у зв'язку із чим було виділений Зовнішньо-Карпатський район.

3. Сумісний аналіз осереднених по групах різницевих інтегральних кривих, побудованих для середніх за рік витрат, а також для максимальних витрат весняного водопілля та дощових паводків дозволив установити, що головною рисою коливань стоку карпатських приток є тісний зв'язок ($r=0,70$) між ординатами кривих для річного та дощового стоку. Отриманий результат указує на значну роль дощового живлення та його динаміки на формування коливань річного стоку річок Карпат та Дністра як головної річки.

4. Виявлено, що для Зовнішньо-Карпатського району (група 2) характерний тісний зв'язок ординат різницевих інтегральних кривих річного стоку як із коливаннями максимального стоку як

паводків, так і водопілля. Для окремих річок району 2, де основним є вплив весняного водопілля, тісний лінійний зв'язок ординат різницевих інтегральних кривих річного стоку установлений лише із кривими, побудованими для весняного водопілля ($r=0,72$). Такі річки утворюють групу 3 у межах Зовнішньо-Карпатського району.

5. Показано, що на лівобережних рівнинних притоках Дністра, які відносяться до Верхнього Подільського (група 5) та Середнього Подільського (група 6) районів, тіснота лінійних зв'язків між ординатами різницевих інтегральних кривих стає більш вираженою, коли для їх побудови використовуються не витрати, а шари стоку за весняне водопілля або дощовий паводок. Використання у розрахунках шарів стоку дозволяє урахувати вплив регулюючої ролі карстових утворень та штучних водойм.

6. Вид різницевих інтегральних кривих коливань річного стоку, який докорінно відрізняється від коливань головної річки Дністер, відноситься до верхніх лівобережних приток Дністра (Стрв'яз, Верещиця, Щерець) та нижніх лівобережних приток від Ушиці до Ягорлика (Нижній Подільський район) включно. Така зміна характеру коливань пояснюється, скоріш за все, переважаючою дією інших впливових атмосферних процесів, які визначають кліматичні умови формування стоку цих приток.

7. Таким чином, різниця у характері коливань річного стоку у створах однієї і тієї ж річки або поряд розташованих річок може бути поясненою різною роллю весняного водопілля у формуванні річного стоку річок. Оскільки внесок весняного водопілля у загальне живлення річок змінюється через потепління, то цей факт може бути використаний для пояснення динаміки у часі границь виділених за синхронністю та синфазністю коливань районів.

Слід зазначити, що розглянута тематика має бути продовженою по мірі зростання тривалості спостережень за змінами кліматичних чинників та характеристик стоку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: колективна монографія / за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового; Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2018. 548 с. ISBN 9786177711222.
2. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official

- Journal of the European Communities. 22.12.2000. L. 327. Vol. 43: 72 p.
3. Changing climate both increases and decreases European river floods / Blöschl G., Hall J., Viglione A. et al. *Nature*. 2019. № 573. Pp. 108-111.
4. Стратегическая программа действий для бассейна реки Днестр. Кишинев – Киев, 2020. 65 с.
5. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України / В. К. Хільчевський, О. М. Гончар, М. Р. Забокрицька та ін; за ред. В. К. Хільчевського, В. А. Сташука. Київ: Ніка-центр, 2013. 256 с.
6. Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз): монографія. Київ: Ніка-центр, 2010. 316 с.
7. Швец Г. І., Ігошин М. І. Каталог річок і водойм України: навчально-довідковий посіб. Одеса: Астропринт, 2003. 389 с.
8. Ресурси поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 1. Западная Украина и Молдавия / под ред. Б. М. Штейнгольца. Ленинград, 1964. 245 с.
9. Пилипович О., Ковальчук І. Геологія басейнорічкової системи верхнього Дністра: монографія. Львів-Київ: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. 284 с. URL: <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/10/%> (дата звернення: 12.11.2023).
10. Климчук А. Б. Карст и природные полости. Экологическая геология Украины / под ред. Шестопалова В. М. Киев: Наукова думка, 2009. 409 с. URL: <http://institute.speleoukraine.net/karst-and-caves/ukrainian-karst> (дата обращения 15.11.2023).
11. Горбачова Л. О. Багаторічні тенденції річного стоку води річок України та його кліматичних чинників / *Гідрологія. Водні ресурси. Наукові праці УкрДГМІ*. 2016. Вип. 269. С. 94-106.
12. Лобода Н. С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: монографія. Одеса: Екологія, 2005. 208 с.
13. Мельник С. В., Лобода Н. С. Районирование бассейна Верхнего Днестра по характеру колебаний годового стока на основе кластерного анализа / *Український гідрометеорологічний журнал*. Одеса: ТЕС. 2010. №6. С. 180-189.
14. Мельник С. В., Лобода Н. С. Оцінка змін характеристик стоку лівобережних приток Верхнього Дністра в умовах потепління. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. №27. С. 55-65. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.06>
15. Melnic V. S., Loboda N. S. Trends in monthly, seasonal and annual fluctuations in flood peaks for upper Dniester River. *Meteorology, Hydrology and Water Management*. 2020. 8(2). Pp. 28-36. <https://doi.org/10.26491/mhwm/126705>
16. Горбачова Л. О., Барандіч С. І. Просторово-часова мінливість максимального стоку весняного водопілля та паводків змішаного походження річок України/ *Гідрологія. Водні ресурси. Наукові праці УкрДГМІ*, 2016. Вип. 269. С. 107-114.
17. Овчарук В. А., Гопченко Є. Д., Траскова А. В. Нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Дністер: моногр. Харків: ФОП Панов А. М., 2017. 252 с.
18. Лобода Н. С., Козлов М. О., Катинська І. В. Оцінка змін водних ресурсів Гірського Дністра у XXI сторіччі за сценарієм RCP8.5 на основі моделі «клімат-стік». *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021.

28. С. 48-64. <https://doi.org/10.31481/uhmj.28.2021.05>
19. Вишневецький В. І., Куций А. В. Багаторічні зміни водного режиму річок України. Київ : Наукова думка, 2022. 252 с.
 20. Climate change impact on regional floods in the Carpathian region / Didovets I., Krysanova V., Bürger G., Snizhkos S., Balabukhd V., Bronsterta A. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2019. № 22. Pp. 1-14.
 21. Мельник С. В., Лобода Н. С. Динамика наносов верхнього і середнього Дністра в умовах антропогенної навантаження і змінення клімату: монографія. Одеса : ТЭС, 2019. 294 с.
 22. Голченко Є. Д., Лобода Н. С., Овчарук В. А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеса : ТЕС, 2014. 484 с.
 23. Мельник С. В., Лобода Н. С. Динамика наносов верхнього і середнього Дністра в умовах антропогенної навантаження і змінення клімату: монографія / Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2019. 296 с.
 24. Лобода Н., Мельник С. Оценка основных тенденций изменения максимального и годового стока рек бассейна Днестра. *Proceedings of the International Conference «Transboundary Dniester River Basin Management and EU Integration – Step by Step»*. Chişinău: Eco-TIRAS, 2022. Pp. 163-167. URL: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/10847> (дата обращения: 23.10.2023)
- ## REFERENCES
1. Stepanenko, S.M. & Polovyi, A.M. (2018). *Klimatichni ryzyky funkcionuvannya haluzei ekonomiky Ukrainy v umovakh zminy klimatu [Climate risks for the functioning of Ukrainian economic sectors in the context of climate change]*. Odesa: TES Publ. ISBN: 9786177711222. (in Ukr.)
 2. *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*. Official Journal of the European Communities. 22.12.2000. L. 327. Vol. 43.
 3. Blüschl, G., Hall, J. & Viglione, A. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573, pp. 108-111.
 4. Organization for Security and Co-operation in Europe (2020). *Strategicheskaya programma deystviy dlya basseyna reki Dnestr [Strategic Action Program for the Dniester River Basin]*. Kyshynev – Kyev. (in Russ.)
 5. Khilchevskiy, V.K., Honchar, O.M., Zabokrytska, M.R. & Stashuk, V.A. (eds). (2013). *Hidrokhimichniy rezhym ta yakist poverkhnelykh vod baseinu Dnistra na terytorii Ukrainy [Hydrochemical regime and quality of surface waters of the Dniester basin in Ukraine]*. Kyiv: Nika-Centr Publ. (in Ukr.)
 6. Hrebin, V.V. (2010). *Suchasnyi vodnyi rezhym richok Ukrainy (landshafno-hidrolohichniy analiz) [Modern water regime of Ukrainian rivers (landscape and hydrological analysis)]*. Kyiv: Nika-Centr Publ. (in Ukr.)
 7. Shvebs, H.I., Ilohshyn, M.I. (2003). *Kataloh richok i vodoim Ukrainy [Catalog of rivers and reservoirs of Ukraine]*. Odesa: Astroprint. (in Ukr.)
 8. Shteinholts, B.M. (eds). (1964). *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: Gidrologicheskaya izuchennost'. Ukraina i Moldaviya. Zapadnaya Ukraina i Moldaviya [Surface water resources of the USSR: Hydrological study. Ukraine and Moldavia. Western Ukraine and Moldavia]*. Leningrad. (in Russ.)
 9. Pylypovych, O. & Kovalchuk, I. (2017). *Heolohiia basinovo-richkovoï systemy verkhnoho Dnistra [Geology of the Upper Dniester Basin and River System]*. LNU imeni Ivana Franka, Lviv-Kyiv. Available at: <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/10/%> (Accessed: 12.11.23) (in Ukr.)
 10. Klimchuk, A.B., Shestopalova, V.M. (eds). (2009). *Karst i prirodnye polosti. Ekologicheskaya geologiya Ukrainy [Karst and natural cavities. Environmental Geology of Ukraine]*. Kiev: Naukova dumka. Available at: <http://www.institute.speleoukraine.net/karst-and-caves/ukrainian-karst> (Accessed: 15.11.2023). (in Russ.)
 11. Horbachova, L.O. (2016). Bahatorichni tendentsii richnoho stoku vody richok Ukrainy ta yoho klimatichnykh chynnykiv. *Vodni resursy [Long-term trends in the annual water flow of Ukrainian rivers and its climatic factors. Water resources]*. *Naukovi pratsi UkrDHMI [Scientific works of USHMI]*, 269, pp. 94-106. (in Ukr.)
 12. Loboda, N.S. (2005). *Raschety i obobshcheniya kharakteristik godovogo stoka rek Ukrainy v usloviyakh antropogennoho vliyaniya [Calculations and generalizations of annual runoff characteristics of Ukrainian rivers under conditions of anthropogenic influence]*. Odessa: Ekologiya. (in Russ.)
 13. Mel'nik, S.V. & Loboda, N.S. (2010). Rayonirovanie basseyna Verkhnoho Dnestra po kharakteru kolebaniy godovogo stoka na osnove klasterного analiza. [Regionalization of the Upper Dniester basin by character of annual flow fluctuations based on cluster analysis]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal [Ukrainian Hydrometeorological Journal]*, 6, pp. 180-189. (in Russ.)
 14. Melnyk, S.V. & Loboda, N.S. (2021). Otsinka zmin kharakterystyk stoku livoberezhnykh pryток Verkhnoho Dnistra v umovakh poteplinnia [Assessment of changes in the characteristics of the flow of the left-bank tributaries of the Upper Dniester in the conditions of warming]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal [Ukrainian Hydrometeorological Journal]*, 27, pp. 55-65. <https://doi.org/10.31481/uhmj.27.2021.06> (in Ukr.)
 15. Melnic, V.S. & Loboda, N.S. (2020). Trends in monthly, seasonal and annual fluctuations in flood peaks for upper Dniester River. *Meteorology, Hydrology and Water Management*, 8(2), pp. 28-36. <https://doi.org/10.26491/mhwm/126705>
 16. Horbachova, L.O. & Barandich, S.I. (2016). Prostorovochasova minlyvist maksimalnoho stoku vesnianoho vodopillia ta pavodkiv zmishanoho pokhodzhennia richok Ukrainy [Spatial and temporal variability of the maximum runoff of spring floods and floods of mixed origin in the rivers of Ukraine]. *Naukovi pratsi UkrDHMI [Scientific works of USHMI]*, 269, pp. 107-114. (in Ukr.)
 17. Ovcharuk, V.A., Hopchenko, Y.D. & Traskova, A.V. (2017). *Normuvannya kharakterystyk maksimalnoho stoku vesnianoho vodpillia v baseini richky Dnister [Normalization of the characteristics of the maximum spring flood runoff in the Dniester River basin]*. Kharkiv: FOP Panov A. M. Publ. (in Ukr.)
 18. Loboda, N.S., Kozlov, M.O. & Katynska, I.V. (2021). Otsinka zmin vodnykh resursiv Hirskoho Dnistra u XXI storichchi za stsenariem RCP8.5 na osnovi modeli «klimat-stik» [Assessment of changes in the water resources of the Mountain Dniester in the XXI century under the RCP8.5 scenario based on the climate-runoff model]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal [Ukrainian Hydrometeorological Journal]*, 28, pp. 48-64. <https://doi.org/10.31481/uhmj.28.2021.05> (in Ukr.)

19. Vyshnevskiy, V.I. & Kutsyi, A.V. (2022). *Bahatorichni zminy vodnoho rezhymu richok Ukrainy. [Long-term changes in the water regime of Ukrainian rivers]*. Kyiv: Naukova dumka. (in Ukr.)
20. Didovets, I., Krysanova, V., Bьrgera, G., Snizhko, S., Balabukhd, V. & Bronsterta, A. (2019). Climate change impact on regional floods in the Carpathian region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 22, pp. 1-14.
21. Mel'nik, S.V. & Loboda, N.S. (2019). *Dinamika nanosov verhnego i srednego Dnestra v uslovijah antropogennoj nagruzki i izmenenija klimata [Sediment dynamics of the upper and middle Dniester under anthropogenic load and climate change conditions]*. Odessa: TES Publ. (in Russ.)
22. Hopchenko, Y D., Loboda, N.S. & Ovcharuk, V.A. (2014). *Hidrolohichni rozrakhunky [Hydrological calculations]*. Odesa: TES Publ. (in Ukr.)
23. Mel'nik, S.V. & Loboda, N.S. (2019). *Dinamika nanosov verhnego i srednego Dnestra v uslovijah antropogennoj nagruzki i izmenenija klimata [Sediment dynamics of the upper and middle Dniester under anthropogenic load and climate change conditions]*. Odessa State Environmental University. Odessa: TES Publ. (in Russ.)
24. Loboda, N. & Mel'nik, S. (2022). [Assessment of the main trends in the maximum and annual runoff of rivers in the Dniester basin]. In: *Proceedings of the International Conference «Transboundary Dniester River Basin Management and EU Integration – Step by Step»*, 27-28 October. Chisinau, Moldova. Chisinau: Eco-TIRAS, pp. 163-167. Available at: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/10847> (Accessed: 23.10.2023) (in Russ.)

PATTERNS OF RUNOFF FLUCTUATIONS OF THE DNIESTER RIVER (UKRAINE) UNDER CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE AT THE BEGINNING OF THE 21st CENTURY

N. S. Loboda, M. R. Rozvod

*Odesa State Environmental University,
15 Lvivska St., 65016, Odesa, Ukraine,
natalie.loboda@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0794-9951>*

The relevance of the chosen topic is associated with the impact of climate change on fluctuations of water content in Ukrainian rivers. The consequences of warming depend on physical and geographical conditions and vary significantly across different natural zones. The behaviour of catchment areas affected by climate change varies depending on landscape (mountainous or flat terrain) and latitude. This results in instability of boundaries of catchment areas with annual runoff synchronous and out-of-phase fluctuations. The study aims at establishing the patterns of annual runoff fluctuations in the Dniester basin with relation to fluctuations in the maximum runoff of rainfalls and spring floods. The spring floods are the ones that determine a significant part of annual runoff and depend on the impact of warming during the winter season. The study's main method is the method of constructing difference integral curves of annual and maximum rainfalls and maximum spring runoff and their analysis. There are 7 groups (zones) within the Dniester River catchment area identified by the type of difference integral curves of annual runoff. Fluctuations in annual, maximum rain and spring runoff were compared using the curves averaged within each group. The degree of synchronicity of fluctuations was estimated via correlation coefficients between the ordinates of difference integral curves. It was found that the main river oscillations retain their cyclicity along its entire length, even below the Dniester HPP. The last transition to a low-water phase occurred in 2010-2011. It was discovered that the main river's cyclical nature mostly results from fluctuations in the runoff of mountainous Carpathian tributaries that form the Dniester's runoff formation zone. This part of the catchment area is characterized by a high amount of snow and rainfalls feeding the river with the role of rainfalls having a predominant character. In the upper reaches of Carpathian rivers, where the impact of warming is not yet sufficiently pronounced at high altitudes, spring floods play a significant role in runoff formation. In the upper reaches of Carpathian rivers there is an additional zone where fluctuations in annual runoff are caused by both rainfalls and spring floods. The boundaries of this zone (2nd district) may change as the effects of warming increase high in the mountains. On the left-bank tributaries, the runoff fluctuations in Verkhnepodilskyi and Serednepodilskyi districts are similar to those of the main river, however, there is a shift in the dates of the last transition to a low-water phase. The study indicates the likelihood of karst and artificial reservoirs influence. It also indicates a significant difference in the nature of runoff fluctuations of the upper left-bank tributaries (Strvyazh, Vereshchytsia, Shcherek) and lower left-bank tributaries. They are affected by other atmospheric processes and climatic factors associated with such processes.

Keywords: cyclicity of runoff fluctuations; annual runoff; spring floods; rain floods; zonation.

Подання до редакції: 29. 11. 2023
Надходження остаточної версії: 05. 12. 2023
Публікація статті: 21. 12. 2023